

PIC 单片机 基础与应用

■ 汤竞南 钱昊 国海欣 编著

 人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS



PIC 单片 机 基础与应用

■ 汤竞南 钱昊 国海欣 编著

人民邮电出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

PIC 单片机基础与应用 / 汤竞南, 钱昊, 国海欣编著. —北京: 人民邮电出版社, 2006.6
ISBN 7-115-14874-0

I. P... II. ①汤...②钱...③国... III. 单片微型计算机, PIC 系列 IV. TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 064148 号

内 容 提 要

本书从最基本的单片机原理开始, 从应用的角度出发, 较为全面地介绍美国微芯 (Microchip) 公司生产的初级、中级和高级三大类 PIC 单片机, 着重阐述开发这三大类单片机所用的汇编语言、C 语言及开发环境, 并列举一些应用实例以及开发工具的自制和使用方法, 以使读者较快掌握 PIC 单片机的基本原理和开发过程。

本书系统全面、重点突出、通俗易懂、学用结合、软硬兼备、实例丰富, 适合于初步具备电子技术和计算机基础知识的学生、教师、单片机爱好者、电子制作爱好者、电器维修人员、电子产品开发设计者和工程技术人员阅读参考。

PIC 单片机基础与应用

-
- ◆ 编 著 汤竞南 钱 昊 国海欣
责任编辑 刘 浩
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京密云春雷印刷厂印刷
新华书店总店北京发行所经销
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 21.75
字数: 529 千字
印数: 1—5 000 册
- 2006 年 6 月第 1 版
2006 年 6 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-115-14874-0/TP · 5467

定价: 35.00 元

读者服务热线: (010)67132692 印装质量热线: (010)67129223

前 言

随着计算机应用技术的不断发展，单片机的品种越来越丰富，应用领域越来越广泛。美国微芯（Microchip）公司推出的 PIC 单片机系列产品，采用了 RISC 结构的嵌入式微控制器，具有高速度、低电压、低功耗、大电流驱动能力和低价位 OTP 技术等特点，采用精简指令集，容易学习。微芯公司针对应用开发出了许多具有各种特色的单片机芯片，如果能利用 PIC 单片机的各种特性，可以设计出许多在电路合理性、成本控制、性能指标等各方面都很优秀的产品。

本书突出 PIC 单片机的特点，重点解决学用结合的问题。读者在学习本书后能对 PIC 单片机有较深刻的全面的了解，并能独立开发具有一定难度的单片机应用系统。

本书各章主要内容简介如下。

第 1 章简要介绍单片机的基础知识，进而介绍 PIC 单片机，并简要介绍几款常用的 PIC 单片机和 PIC 单片机选型方面的参考数据。

第 2 章详细介绍 PIC 单片机的指令系统和指令集。

第 3 章着重介绍 PIC 单片机汇编语言和单片机 C 语言程序设计的基础知识。

第 4 章介绍 12 位的 PIC 单片机 PIC16C5X 和 PIC12C5XX 的结构和功能。

第 5 章介绍中档的 14 位 PIC 单片机 PIC16C5X 和 PIC12C5XX 的结构和功能，包括定时器、比较器、模数转换等。

第 6 章介绍高档的 16 位 PIC 单片机 PIC17C 系列和增强型的 PIC18C 和 PIC18F 系列，着重介绍高档单片机的硬件乘法器和 CAN 总线控制器。

第 7 章介绍 PIC 单片机的开发工具的制作方法，包括简易编程器和开发调试器的制作。读者可以体会自己动手的乐趣。

第 8 章介绍 PIC 单片机的开发环境，分别介绍较为流行的 MPLAB 和 Wave 开发环境。

第 9 章开始介绍 PIC 单片机开发实例，其中第 9 章介绍 PIC16C5X 单片机在 I²C 总线中的应用。

第 10 章介绍 PIC16C7X 单片机在电机保护器中的应用，即智能电机保护器的工作原理和具体设计。

第 11 章介绍 PIC16F877 单片机在字符型液晶显示模块中的应用，阐述如何使用单片机控制字符型 LCD 模块，并给出了对应的电路图和实现代码。

PIC 单片机的品种型号很多，价格也有很大的差别。目前 PIC 单片机品种型号还在不断地增加。由于篇幅所限，本书不能对所有的 PIC 单片机进行详细的介绍。读者在设计 PIC 单片机应用系统时，要注意不同型号之间的差别，选用适合自己系统所需要型号，以最低廉的价格、最简洁的电路达到最优秀的性能。

本书由汤竞南、钱昊和国海欣编写，全书由徐睿统一审稿，在本书编写过程中主要参考美国微芯公司的资料，同时也参考了一些技术网站相关的资料。

由于水平有限，书中不妥之处在所难免，敬请广大读者批评指正（电子函件：book_better@sina.com）。

编者

2006.6

目 录

第 1 章 PIC 单片机基础	1
1.1 单片机简介	1
1.1.1 中央处理器 CPU	1
1.1.2 存储器	2
1.1.3 输入输出端口	3
1.2 PIC 单片机的特点	5
1.3 常用 PIC 单片机简介	9
1.3.1 PIC12 系列	9
1.3.2 PIC16C5X 系列	10
1.3.3 PIC16C6XX 和 PIC16C7XX 系列	10
1.3.4 PIC16FXXX 系列	11
1.3.5 PIC17CXXX 系列	12
1.3.6 PIC18CXXX 和 PIC18FXXX 系列	13
1.4 PIC 单片机的选用	13
1.5 PIC 单片机的引脚及有关符号说明	15
1.5.1 I/O 口符号	15
1.5.2 引脚的复用功能和符号	15
1.5.3 其他缩写和符号	16
第 2 章 指令系统	17
2.1 指令系统简介	17
2.2 数据空间的寻址	23
2.3 面向字节操作类指令	26
2.4 面向位操作类指令	42
2.5 控制和常数操作类指令	45
2.6 总结	57
第 3 章 PIC 单片机汇编语言和 C 语言基础	58
3.1 MPASM 交叉宏汇编语言	58
3.1.1 交叉宏汇编概述	58
3.1.2 MPASM 的启动及生成文件	59
3.1.3 伪指令	67
3.1.4 宏指令	71
3.1.5 错误信息	72

3.2 C 语言	74
3.2.1 在 MPLAB-IDE 中使用 PICC	74
3.2.2 C 语言基本结构	76
3.2.3 PICC 程序设计的基本语法	82
3.2.4 控制流语句	87
3.2.5 函数	90
3.2.6 数组和指针	93
3.2.7 结构和联合	96
3.2.8 PICC 语言和汇编语言的混合编程	97
第 4 章 12 位 PIC 单片机	100
4.1 12 位 PIC 单片机简介	100
4.1.1 PIC16C5X 系列	100
4.1.2 PIC12C5XX 系列	103
4.2 PIC16C5X 的系统结构与功能	106
4.2.1 程序存储器及堆栈	106
4.2.2 数据存储器	107
4.2.3 预分频器及应用	115
4.2.4 I/O 功能及应用	115
4.2.5 CPU 的特殊部件和功能	118
4.2.6 定时器/计数器的应用	123
4.2.7 系统复位	125
4.3 PIC12C5XX 的系统结构与功能	128
4.3.1 程序存储器及堆栈	128
4.3.2 数据存储器	129
4.3.3 预分频器及应用	134
4.3.4 I/O 功能及应用	135
4.3.5 CPU 的特殊部件和功能	136
4.3.6 定时器/计数器的应用	140
4.3.7 系统复位	142
第 5 章 14 位 PIC 单片机	146
5.1 14 位 PIC 单片机概述	146
5.2 振荡器类型	149
5.3 复位	151
5.4 存储器结构	153
5.4.1 程序存储器	153
5.4.2 数据存储器	155
5.5 I/O 端口	158
5.6 定时器	161

5.6.1	Timer0	161
5.6.2	Timer1	162
5.6.3	Timer2	164
5.7	捕捉/比较/脉宽调制模块 CCP	165
5.7.1	捕捉模式	165
5.7.2	比较模式	165
5.7.3	PWM 功能	166
5.8	比较器和参考电压模块	169
5.8.1	比较器	169
5.8.2	参考电压模块	171
5.9	模数转换	173
5.9.1	基本型 8 位 A/D 转换器	173
5.9.2	8 通道 A/D 转换器	176
5.9.3	10 位 A/D 转换器	177
5.10	主同步串行口 (MSSP)	179
5.10.1	同步串行口相关寄存器	179
5.10.2	SPI 串行通信模式	179
5.10.3	I ² C 串行通信 SSP 模块	185
5.11	通用同步/异步收发器 (USART)	187
5.11.1	异步模式	189
5.11.2	同步主控模式	192
5.11.3	同步从动模式	193
5.12	在线串行编程 ICSP	194
第 6 章	16 位 PIC 单片机	195
6.1	16 位 PIC 单片机概述	195
6.2	存储器结构	196
6.2.1	程序存储器	196
6.2.2	数据存储器	200
6.3	读表与写表	203
6.4	8×8 硬件乘法器	205
6.5	Timer5 模块	207
6.6	CAN 总线	208
6.6.1	CAN 总线控制器模块	209
6.6.2	CAN 模块工作方式	226
6.6.3	CAN 信息的发送	226
6.6.4	CAN 信息的接收	227
6.6.5	信息接收过滤器和屏蔽器	230
6.6.6	错误检测	230

6.6.7	波特率设定	231
6.6.8	同步	232
6.6.9	时间段编程	233
6.6.10	CAN 中断	234
6.6.11	CAN 总线接口硬件电路	235
6.6.12	CAN 编程实例	235
6.7	故障保护时钟监视器	237
6.8	双速启动	239
6.9	运动反馈模块	240
第 7 章	自制编程器	242
7.1	印制板制作	242
7.2	简易 PIC 编程器	243
7.3	Willem 编程器	245
7.4	PIC-ICD2 在线调试/烧写器	250
第 8 章	PIC 程序开发环境	254
8.1	开发软件 MPLAB	254
8.1.1	设定工作环境	255
8.1.2	建立项目文件	256
8.1.3	编译项目文件	260
8.1.4	MPLAB 环境设定	262
8.1.5	MPLAB 的程序调试	263
8.1.6	MPLAB 中的其他选项	267
8.1.7	程序中的注意事项	268
8.2	开发软件 wave	269
8.2.1	安装 wave	269
8.2.2	设定工作环境	269
8.2.3	建立项目文件	271
8.2.4	编译项目文件	271
8.2.5	wave 的文件调试	272
第 9 章	PIC16C5X 单片机在 I²C 总线中的应用	274
9.1	I ² C 总线概述	274
9.1.1	起始和停止条件	275
9.1.2	地址和数据传输	275
9.2	24LC01B 简介	275
9.2.1	写操作	276
9.2.2	读操作	276
9.3	电路解析	277

9.4 软件设计	277
9.4.1 程序流程图	277
9.4.2 汇编程序实现	278
9.4.3 C 程序实现	283
第 10 章 PIC16C7X 单片机在电机保护器中的应用	288
10.1 智能电机保护器概述	288
10.2 基本原理和硬件框图	288
10.3 电机保护器控制部分	289
10.3.1 控制部分硬件设计	289
10.3.2 控制部分软件设计	289
10.4 电机保护器显示部分	298
10.4.1 显示部分硬件设计	298
10.4.2 显示部分软件设计	299
10.5 电机保护器通信部分	306
10.5.1 PIC 单片机之间的 I ² C 总线通信	306
10.5.2 PIC 单片机与 PC 机之间的 RS485 通信	308
第 11 章 PIC16F877 单片机在字符型液晶显示模块中的应用	311
11.1 字符型 LCD 模块 HD44780U	311
11.2 PIC 和 LCD 硬件电路图	317
11.3 软件设计	318
附录 A PICmicro 单片机系列产品表	327
附录 B MPLAB 调试信息表	336

第 1 章 PIC 单片机基础

本章将首先简要介绍单片机的基础知识，之后介绍美国微芯（Microchip）公司 PIC 单片机，并简要介绍几款常用的 PIC 单片机和 PIC 单片机选型方面的参考数据。

1.1 单片机简介

如果告诉你，在你的家里，甚至在你的身上，都有单片机在为你服务，你会不会吃惊？事实果真如此，在许多家用电器，如随身携带的手机、MP3 播放机、数码相机、电子辞典上，单片机都起着非常重要的作用。

PIC 单片机是当今单片机家族中非常重要的一员，要学习 PIC 单片机，首先需要了解什么是单片机，单片机是怎么发展起来的。

世界上第一台由程序控制的电子计算机是 1946 年在美国宾夕法尼亚大学由 J.W.Mauchley 及 J.P.Eckert 等人合作研制成功的 ENIAC (Electronic Numerical Integrator And Calculator)，它使用了 18800 多只电子管和 1500 只继电器，占地 150m²，重量达 30 多吨，只能进行每秒钟 5000 次的加法运算。随着晶体管的发明特别是集成电路的诞生，计算机不断朝着高速化、小型化、低功耗化方向快速发展。1971 年，美国 INTEL 公司发布了具有 4 位并行处理能力的微处理器 4004，标志着世界上第一块微处理器的诞生。

当时，发明生产这种集成微处理器的目的，仅仅是为了生产一种能进行算术运算的计算机。可是，人们却发现，这种集成电路除了能进行常规的算术运算外，还有极其广泛的用途和发展潜力。于是，以此为基础，INTEL 公司于 1972 年发布了第二代 8 位微处理器 8008，随后又相继发布了 8048、8080 和 8085 微处理器。与此同时，一些其他的集成电路公司也开发出了各具特色的微处理器，例如 Zilog 公司的 Z80、Motorola 公司的 6502 和 6800 等。特别是 Z80 微处理器，由于其优异的性能和相对低廉的价格，曾于 20 世纪 80 年代受到许多人的喜爱，把它搭接成单板机，在我国应用非常广泛。

在一台基本的电子计算机中，微处理器即通常所称的 CPU 是最重要的了，它是整台计算机的核心。但是，除了微处理器以外，还有许多其他元件。因此，一台基本的计算机，不但一定要有具有数据处理能力的 CPU，还具有数据存储器、程序存储器、输入输出接口等。早期，研发人员为了简化结构，把 CPU 和随机存取数据存储器(RAM)、只读程序存储器(ROM)、输入输出接口等电路焊在同一块印制板上，构成了最简单的微型计算机（即单板机），用来控制各种工业设备和仪器仪表或进行教学实验。

下面分别介绍微型计算机中各主要部件的作用。

1.1.1 中央处理器 CPU

在微型计算机中，CPU (Central Processing Unit, 即微处理器或称中央处理器) 是计算

机的心脏，它由运算部件和控制部件组成。

运算部件包括算术逻辑部件 ALU、布尔处理器、累加器 ACC 和寄存器 (Register) 等。该部件实现的功能是数据的算术、逻辑运算以及位变量的处理和数据传送。

控制部件包括定时控制逻辑、指令寄存器、译码器，以及信息传送控制部件等。该部件实现的功能是程序和指令的解释及执行，指挥全系统的工作。

CPU 既负责控制微型计算机其他各部分的协调工作，又负责完成各种算术和逻辑运算。因此，CPU 是决定计算机性能的最重要的部件。

CPU 执行指令是按照一定的节拍，第一步干什么，第二步干什么，有条不紊，一步一步地进行的。因此，必须有一个电路专门产生基本的节拍信号（也称时基信号），这部分电路就叫时钟电路。时钟电路实际上是一个振荡电路，发出一串频率固定的时钟脉冲。为了使时钟脉冲频率尽量少受外界温度、电压变化的影响，往往使用石英晶体来稳定频率。

CPU 按照一定的时钟节拍执行指令，每执行一条指令都需要一定的时间。如果时钟频率高，每一个时钟脉冲的周期就短，CPU 的执行速度就快。但由于生产工艺的限制，每一种型号的 CPU 都有最高工作频率的限制，这也是用户选择 CPU 的重要依据之一。

1.1.2 存储器

存储器有内部存储器和外部存储器之分。外部存储器往往指硬盘、软盘、光盘，内部存储器现在都用集成电路实现，常常被叫做内存。微型计算机中使用的内存分为两种——程序存储器和数据存储器。

1. 程序存储器

程序是控制计算机动作的一系列命令。在微型计算机处理问题之前，必须事先将编好的程序、表格、常数汇编成机器代码后存入计算机的存储器中。用来存放预先编写好的控制或运算程序的集成电路就叫程序存储器。例如，要计算机对一个数进行开平方运算，一般的微处理器只能进行加、减、乘、除等简单的数学运算，因此必须事先把开平方运算化为只进行加、减、乘、除的运算，然后编出运算程序，并将其编译成计算机能识别的机器码存入程序存储器中，当我们命令计算机执行程序存储器中的这部分程序时，便能算出开平方的答案。

以前微型计算机上用的程序存储器通常都是只能读出程序而不能写入数据的，称为只读存储器，即 ROM (Read Only Memory)。有些 ROM 只能一次性写入，或只能由生产 ROM 的工厂代为写入，一旦写入后就无法擦除，这称为一次可编程 ROM，或简称为 OTP ROM (One Time Programmable ROM)。OTP ROM 写入程序后便无法擦除或修改了，也就是说如果程序写错了，整块集成电路便报废了。但是 OTP ROM 价格便宜，因此，特别适合用在程序成熟稳定、产量较大的产品中。

还有一种 ROM，它上面有一个玻璃窗口，当紫外线透过这个玻璃窗口照射在集成电路内部的硅片时，集成电路中的程序就能被擦除，并且可以重新改写，这种 ROM 叫 EPROM。以前 EPROM 曾经十分流行，但是因为擦除较麻烦，必须要用一定波长和强度的紫外线照射 20~30min，如果紫外线的强度过大或照射的时间过长，很容易损坏 EPROM。因此，现在已经很少使用，取而代之的是 EEROM 和 Flash ROM。

EEROM 也有人写成 E²ROM，是用电可以多次擦除和重写的 ROM，其擦写速度比 EPROM

快得多，也方便得多。

Flash ROM 即通常所称的“闪存”，它擦除和写入数据的速度比 EEROM 还要快，在新款的单片机中用得比较多。

EEROM 和 Flash ROM 还有串行和并行之分。串行方式是把二进制数的每一位分时传送，而并行方式可同时传送多位（一般为 8 位）二进制数。串行 EEROM 或 Flash ROM 的体积要比并行的 EEROM 或 Flash ROM 小，与 CPU 之间的连线也较少，但数据的传送速度慢。

不管是何种 ROM，程序写入后，只要不去擦除它，就一直保留在 ROM 中，即使电源断开，也能长久地保存程序而不会丢失。

2. 数据存储器

数据存储器一般是用来存放需要变动的数据。例如计算机键盘输入的数据和屏幕上显示的数据，都是暂存在数据存储器中的。由于数据要经常变动，因此数据存储器要求能快速方便地写入和读出。这种存储器也称为随机存储器，简称为 RAM (Random-Access Memory)。当电源停止对 RAM 供电时，RAM 中的数据便会丢失，因此，如果需要在电源断开后仍保留 RAM 中的数据时，必须用备用电池对 RAM 供电，或使用专门的非易失性 RAM (NVRAM)。

RAM 或 ROM 都是由一个个最基本的存储单元按一定的顺序排列组合的。每个最基本的存储单元可存放一位二进制数 (0 或 1)，称为一个存储位 (bit)。为了与 8 位的 CPU 配合使用，人们把存储器中的每 8 个基本单元合起来叫一个字节 (Byte) 简称为 B。也就是说一个字节指的是 8 位二进制数。但是，有的 CPU 不是 8 位的，所用的存储器也不一定是 8 位的，这时就要根据实际所使用的位数来决定一个字节是多少位。为了区分不同的字节，把每一个字节按次序编上号，称为地址 (Address)。这样，每一个地址对应内存中的每一个字节单元。要注意，每一个字节存储单元的地址和这一地址中存放的内容是完全不同的，千万不要混淆。

存储器根据可存储的数据，也就是说存储器集成电路到底能存储字节的多少，称为存储器的容量，用字节数来表示。KB 表示 1024 个字节，用 MB 表示 1024×1024 个字节。存储器容量越大，存储器可编址的范围也越大。如果说存储器的大小有 8KB，那么表示存储器的地址范围是从 0000H~1FFFH (十六进制数)。如果综合考虑存储器的每一字节的位数，也可写成 8K×14 这样的格式，表示每一字节 14 位，共有 8KB (字节)。

CPU 的数据线和地址线与存储器对应的数据线和地址线相连接，CPU 上电复位后，将从 0000H 地址的程序存储器中取出程序指令到 CPU，CPU 分析并按这条指令的要求执行，执行完这条指令后，又从地址线上发出下一条指令所存放的地址，从数据线上读出这条新指令，再执行，再取指令……依此类推，计算机便按照人们预先编好的程序指令执行了。

1.1.3 输入输出端口

计算机执行运算或控制时，必须听从用户的指挥，因此，计算机必须能够接受用户的命令。另一方面，计算机把计算的结果告诉用户，或者利用运算的结果来控制设备。例如，人们通过键盘或其他输入设备，把数据或指令送给计算机，计算机把运算的结果用数码管或指示灯等方式显示出来。可见，计算机必须能进行数据信号的输入、输出，因此必须与输入、输出设备配合使用。

输入、输出设备受计算机的控制，与计算机协调工作。因此，输入、输出设备要通过一

定的电路和器件与计算机相连。这部分电路，通常就叫做输入、输出端口（I/O Port）或接口（Interface）。

在数字世界里，所有外界的输入输出都是以二进制的 0 或 1 来表示的。反映到电子电路上，则是不同的电压电平等级。1 表示高电平，0 表示低电平。

作为输入输出用的集成电路，其引脚可用来当做输入或输出端，这取决于数据的流向。凡从外部设备向 CPU 送入数据，称为输入（Input）；凡从 CPU 向外部设备传送数据，称为输出（Output）。单片机上许多接口引脚都是双向的，既可以当输入用，也可以当输出用，可以根据需要灵活使用。

对于 8 位单片机来说，往往把 8 根引脚合起来称为一个输入/输出口。这样只要往输出口中写入一个字节数据，就可以同时在 8 根引脚上得到相应的输出信号。从输入引脚上读入一个字节数据，就可以把 8 根引脚上的状态都输入到计算机中。

现在，人们采用超大规模技术把微处理器（CPU）和随机存取数据存储器（RAM）、只读程序存储器（ROM）、输入输出电路（I/O 口）、定时计数器、串行通信口（SCI）、时钟电路、脉宽调制电路（PWM）、模拟多路转换器及 A/D 转换器等电路集成到一块芯片上，构成一个完善的最小计算机系统。这些电路能在软件的控制下单独、准确、迅速、高效地完成程序设计者事先规定的任务，这就是单片微型计算机，通常简称为单片机，也经常缩写为 MCU（Micro-Controller Unit）。

图 1-1 所示是最基本的单片机框图，其中，译码电路用来指定 CPU 所要访问的部件。根据需要，还可以在这上面加上模拟/数字转换电路、数字/模拟转换电路、定时器/计数器、看门狗等。

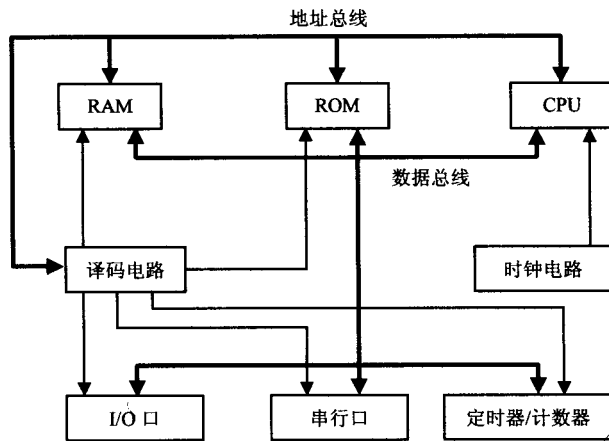


图 1-1 单片计算机基本原理框图

单片机把运算和控制所需要的最基本的部件都集成在同一块芯片上，并可在上面运行各种事先编写好的软件指令来使单片机分析各种不同的情况、控制各种外部设备或执行不同的工作。单片机还可以嵌入各种应用场合，构成所谓嵌入式系统。实际上，单片机就是一种典型的嵌入式系统，因为单片机从体系结构到指令系统都是按照嵌入式系统的应用特点设计的。在其基本结构上，衍生出了能满足各种应用要求的兼容系统，它能很好地满足应用系统在嵌入、面向测控对象、现场可靠运行及控制品质等方面的要求，因此单片机构成的系统，是发

展最快、品种最多、数量最大、应用最广的嵌入式系统。

用单片机构成的电路往往具有体积小、成本低、功能强、可靠性高、功耗低、电路简洁、开发和改进容易等一系列优点，因此具有优异的性能价格比，从而使它得到了越来越广泛的应用。现在，单片机几乎是无处不在，从家里的电视机、空调机、洗衣机、微波炉到汽车、复印机、打印机、移动电话以及医疗仪器、工业控制设备、导弹、飞机、卫星、机器人和其他智能化设备，都有单片机在默默无闻地工作。单片机应用的意义不仅仅限于它的应用范畴或由此带来的经济效益，更重要的是它已从根本上改变了传统的控制方法和设计思想，赋予了受控对象智能化特征，是控制技术上的一个飞跃。

不同型号的单片机往往有着不同的硬件特征和软件特征，即它们的技术特征不尽相同。硬件特征取决于单片机芯片的内部结构。用户要使用某种单片机，必须了解该类型产品是否满足功能和应用系统所要求的特性指标。这里的特性指标包括功能特性、控制特性和电气特性等，这些信息需要从生产厂商的技术手册中得到。软件特征是指指令系统特性和开发支持环境。指令特性即所谓的单片机寻址方式、数据处理和逻辑处理方式、输入输出特性及对电源的要求等。开发支持的环境包括指令的兼容及可移植性，支持软件（包含可支持开发应用程序的软件资源）及硬件资源。要利用某型号单片机开发自己的应用系统，必须掌握其结构特征和技术特征。

1.2 PIC 单片机的特点

PIC（Peripheral Interface Controller）是美国 Microchip Technology（微芯科技）公司所生产的 8 位单片机系列产品型号的前缀。PIC 系列单片机是一种具有分散（多任务）功能的、面对控制应用的一种微处理器。它采用精简指令集、哈佛总线结构、二级流水线取指令方式。除了具有一般单片机所具有的实用、低价、低功耗、高速度、体积小、功能强等特点外，还具有品种多、指令集小、简单易学等特点，体现了单片机发展的一种新趋势。另外 PIC 单片机的价格也在同样级别单片机中颇具竞争力，因而深受用户的欢迎，市场所占份额比例也越来越高。

PIC 系列 8 位单片机具有指令少、执行速度快等优点，其主要原因是 PIC 系列单片机在结构上与其他单片机不同。该系列单片机引入了用于小型计算机的双总线和两级指令流水结构，如图 1-2 所示。

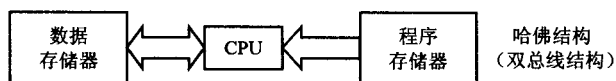


图 1-2 哈佛结构

PIC 系列单片机采用了双总线结构，即所谓哈佛（Harvard）结构。这种结构将程序存储器与数据存储器地址编码分开，因而有两种程序指令总线 and 数据总线两种。这两种总线可以采用不同的字长，如 8 位、12 位、14 位和 16 位的指令总线。这样，取指令时通过指令总线，取数据时则通过数据总线，互不冲突。

指令总线为什么不用 8 位，而要增加位数呢？这是因为指令的位数越多，每条指令包含的信息量越大，指令的功能越强。一条 12 位、14 位或 16 位的指令可能会具有两条 8 位指令的功能。

因此 PIC 系列单片机的指令与复杂指令集 CISC (Complex Instruction Set Computing) 结构的单片机指令相比, 总数要少得多, 即所谓的精简指令集 RISC (Reduced Instruction Set Computer)。

由于 PIC 系列单片机采用了指令空间和数据空间分开的哈佛结构, 因此, 取指令和取数据有可能同时交叠进行, 所以在 PIC 系列微控制器中取指令和执行指令采用指令流水线结构。当第一条指令被取出后, 随即进入执行阶段, 这时可能会从某寄存器取数并送至另一寄存器, 或从一端口向寄存器传送数等, 但数据不会流程序总线, 而只是在数据总线中流动, 因此, 在这段时间内, 程序总线有空, 可以同时取出第二条指令。当第一条指令执行完毕, 就可执行第二条指令, 同时取出第 3 条指令……这样, 除了第一条指令, 其余各条指令的执行和下一条指令的取出是同时进行的, 因此在每个时钟周期可以获得最高效率。

在大多数微控制器中, 取指令和执行指令都是顺序进行的, 但 PIC 单片机指令流水线结构中, 取指令和执行指令在时间上是相互重叠的, 所以 PIC 系列单片机能实现单周期指令。只有涉及到改变程序计数器 PC 值的程序分支指令 (例如 GOTO、CALL) 等才需要两个周期。

因为采用 CISC 结构的单片机数据线和指令线分时复用, 在同一根线上, 有时候传送的是数据, 有时候传送的是指令, 因此它的指令丰富, 功能较强。但取指令和取数据不能同时进行, 速度受限价格也高。采用 RISC 结构的单片机数据线和指令线分离, 这使得取指令和取数据可同时进行, 且由于一般指令线宽于数据线, 使其指令较同类 CISC 单片机指令包含更多的处理信息, 执行效率更高, 速度更快。同时, 这种单片机指令多为单字节, 程序存储器的空间利用率大大提高, 有利于实现超小型化。属于 CISC 结构的单片机有 Intel 的 8051 系列、Motorola 的 M68HC 系列、Atmel 的 AT89 系列、台湾 Winbond (华邦) W78 系列、荷兰 Philips 的 P80C51 系列等, 属于 RISC 结构的有 Microchip 公司的 PIC 系列、Zilog 的 Z86 系列、Atmel 的 AT90S 系列、韩国三星公司的 KS57C 系列、台湾义隆的 EM-78 系列等。一般来说, 控制关系较简单的小家电, 可以采用 RISC 型单片机; 控制关系较复杂的场合, 如通讯产品、工业控制系统应采用 CISC 单片机。不过, 随着 RISC 单片机的迅速完善, 使其佼佼者们在控制关系复杂的场合中表现也毫不逊色。

PIC 系列单片机有许多优点, 也很容易学习。如果能好好地利用 PIC 单片机的各种特性, 往往可以设计出许多无论在电路合理性、成本控制、性能指标各方面都很优秀的产品。

与其他系列单片机相比, PIC 系列单片机具有下列特点。

(1) 品种系列多, 选择余地大。PIC 单片机发展到现在, 已有高、中、低档 100 多种型号可供选择, 引脚从 8 脚到 84 脚, 最高时钟频率从 4MHz 到 40MHz, 程序存储器容量从几百字节到一百多 K 字节。

(2) 高速度。其数据吞吐率最高可达 6MIPS (Million Instruction Per Second, 即每秒钟可执行 600 万条指令), 每条指令最快可达 160 ns, 比同主频的增强型 8051 控制器还要快好几倍。正因为如此, PIC 单片机特别适用于对时间要求苛刻的应用, 例如电机控制、高速 I/O、串行数据流操作或其他实时控制的场合。

(3) 指令少, 易学易用。PIC 单片机采用精简指令集, 所需要学习的指令比一般复杂指令集的单片机少得多, 例如 PIC16C7X 类单片机, 总共只有 35 条指令, 而 8051 系列单片机有 51 种基本操作, 共 111 条指令。

(4) 用户可选择振荡器。PIC 单片机片内集成有带 RC 振荡器的监视定时器, 而且引进了“用户可选择振荡器”的新设计概念。大部分 PIC 单片机允许用户在 4 种从直流到 20MHz

频率范围内选择一种振荡形式让芯片执行指令，以优化系统的功耗。这4种振荡器方式是：RC型——低成本的RC振荡器、XT型——标准的石英晶体振荡器、HS型——高速石英晶体振荡器和LP型——低功耗低频石英晶体振荡器。近几年，Microchip公司又推出了许多把RC振荡器中的电容和电阻都集成在芯片内部的新产品，使用户在设计产品时，电路可以更简洁，成本更低，体积也更小。

(5) 低功耗。由于采用全静态CMOS设计，电源操作能耗很低，但非常可靠。此外，PIC系列单片机还可以用软件在必要的时候降低主频频率，大大降低功耗，并可在程序不运行时进入等待状态，CPU不执行运算，只维持内部寄存器和RAM的供电，保证数据不丢失，此时，只需要极低的维持电流。

(6) 程序代码加密保护，具有较强的保密性能。

(7) 功能强大的I/O性能。PIC系列微控制器的一个特点就是其输入输出功能十分强大。芯片可以在一个指令周期内(800ns)对任何寄存器(包括I/O寄存器)中的任何一位完成位置1、位清零和位测试功能，所以PIC系列芯片与外部电路和接口效率非常高，可以用来作为高速控制器。此外PIC的I/O口有多种功能，通过软件配置，每个I/O引脚都可以对输入和输出分别分时进行多路复用，或者可以被编程成高阻状态，因此可以支持用普通总线进行多片配置。

(8) 驱动能力强。数据输入线允许有25mA的灌电流，输出线允许有大于20mA的拉电流，即可以直接以低电平驱动发光二极管，也可以以高电平驱动发光二极管。有些驱动电流甚至可以高达60mA。

正是因为PIC单片机具有上述特点，给设计人员带来了很大的选择空间。只要对自己将要设计的产品有深入的了解，认真分析最终产品对单片机的各项要求，有针对性地选择合适的单片机型号，往往可以用比其他系列单片机更简单的电路，设计出具有较高性能价格比的应用电路和产品。例如，有些产品需要在断电的情况下，保存一些重要的现场数据。以前要实现这个目的，一般是用备用电池在断电时维持对单片机的RAM供电，现在可以选用内嵌有数据存储EEROM的PIC单片机，在断电时把数据送入EEROM中保存即可，从而简化了电路。为了降低生产成本，可以在产品开发研制阶段，采用程序存储器为Flash ROM的PIC单片机，这样程序可以反复调试修改，等到产品已开发完毕，产品已经成熟，程序不再改动，大量投入生产了，再使用价格便宜的一次性编程的同类型型号PIC单片机，以便降低产品造价。

下面再以一个实例说明PIC单片机的特点，这是一个简单的按键输入方案，电路简单，功能齐全。

图1-3所示是某电子仪器中按键输入和LED数码管显示部分的电路图。该仪器选用了价格便宜的PIC16C54单片机作为控制芯片。PIC16C54的输出引脚有限，为了充分发挥引脚的功能，考虑到只用了3个按键，所以把按键与LED数码管显示器的段信号引脚接在一起。LED数码管用的是共阳双位显示产品，由单片机的软件定时对其扫描显示。因为PIC单片机的I/O引脚可以对输入和输出分时进行多路复用，即可以用软件指令随时指定某一根引脚是输入或是输出。当单片机把RB口引脚定义成输出时，从RB口上各引脚输出的是数码管的段信号。如果要让第一只数码管显示数字“1”，那么第一只数码管公共阳极上的晶体管Q2应导通，同时第一只数码管的b段和c段应点亮，PIC16C54的RB2和RB3引脚上应该发出

低电平信号，RB 口上接数码管的其余各引脚都应发出高电平信号。尽管在 RB0、RB1 和 RB2 上接有上拉电阻 R3、R4、R5 至 VCC，但因为这几只电阻阻值都较大，并不影响 RB 口上各引脚的输出电平。这个时候，如果刚好有按键按下，相当于 RB0、RB1 或 RB2 上多接了个 1kΩ 的电阻到地，但因为 PIC16C54 引脚上可输出的拉电流较大，因此这些 1kΩ 的电阻并不能把单片机输出引脚上的电平拉到低，只不过是单片机上该引脚上流出的电流更大了而已，因此无论是按键按下或弹起，对显示都没有影响。

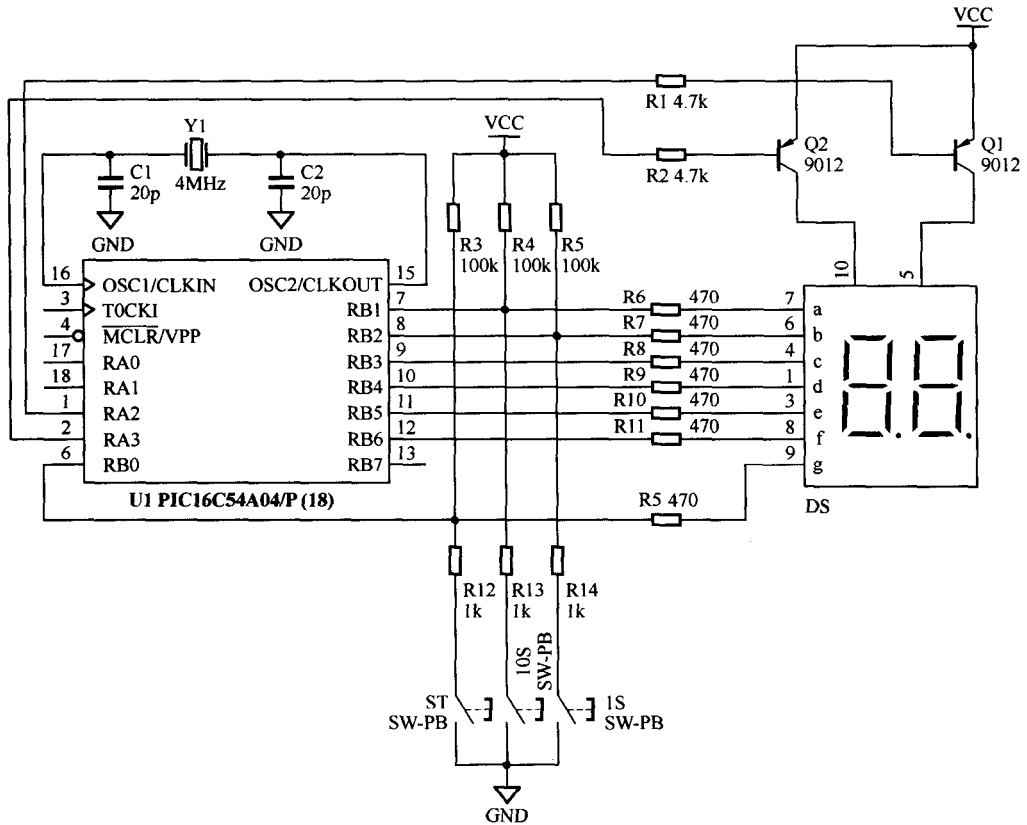


图 1-3 简单的按键输入电路

在显示扫描的间歇，PIC15C54 依靠软件把 LED 数码管的两个共阳极都置为低电平，关掉显示，同时把 RB0、RB1、RB2 暂时定义成输入，再读入这几个引脚上的电平值。由于此时数码管不显示，数码管上各引脚上都没有电流流过，因此 RB0、RB1 或 RB2 上电平的高低仅取决于按键是否按下，如果按键按下，单片机 RB 口上对应的引脚电平为 100kΩ 电阻与 1kΩ 电阻分压的结果，显然这应该是低电平，而当按键弹起时，1kΩ 电阻不起作用，引脚被 100kΩ 电阻拉高。

单片机接收完按键输入后，再按照数码管显示的要求，重新往数码管的各段引脚上送段显示信号，往数码管的共阳极上送位显示信号来指明当前是哪一位数字显示。尽管在显示扫描的间歇为了读按键瞬间关掉了显示，但因为单片机的执行速度很快，人眼很难觉察出来，因此数码显示管上并不会出现闪烁的现象。